



---

## **Actes des journées coton du Cirad-ca**

**Montpellier, du 20 au 24 juillet 1998**

---

**Programme Coton  
Cirad-ca  
Juillet 1998**



## DEVENIR DE DEUX INSECTICIDES DANS LE SOL D'UNE CULTURE COTONNIERE EN CÔTE D'IVOIRE

DE CONINCK Anouk<sup>1</sup>, MARTIN Thibaud<sup>1,2</sup>, OCHOU OCHOU Germain<sup>2</sup> et N'KLO HALA François<sup>2</sup>

1- IDESSA, 01 BP 633 Bouaké. Côte d'Ivoire

2- CIRAD, programme coton, BP 635 Montpellier

### Introduction

Le coton occupe 244.513 ha de la Côte d'Ivoire en 1996/1997. Cette culture industrielle est répartie dans les régions Nord-Ouest et Centre du pays, sous un climat sub-tropical humide et dans une végétation de savane arborée. Là, elle est de première importance économique.

Le parasitisme du cotonnier est considérable du fait des conditions climatiques de la région Nord de la Côte d'Ivoire et de la présence de plantes hôtes tout au long de l'année. De ce fait, la lutte anti-parasitaire est incontournable et il est estimé qu'une absence de traitement phytosanitaire peut entraîner plus de 50% de pertes de production. Ceci justifie la mise en place de programmes de protection régionalisés avec une gamme de produits phytosanitaires spécifiques aux principaux ravageurs du coton : un Acarien, plusieurs Lépidoptères et un Aleurode.

Pendant la campagne de production, qui se déroule de mai à octobre, l'utilisation de deux formulations différentes est conseillée. La première correspond au début de la floraison du cotonnier et la deuxième à la fin du stade fructifère. Ces formulations sont composées de deux matières actives de familles d'insecticides distinctes, essentiellement les pyréthrinoides et les organophosphorés. Les concentrations respectives des produits prescrits sont déterminées en fonction des insectes ciblés. La prévention des résistances aux insecticides et la diversité du complexe parasitaire du cotonnier sont les deux raisons essentielles pour lesquelles une telle association de matières actives est adoptée.

Le Deltaphos est une formulation introduite sur le marché ivoirien depuis 1986. Elle est composée de 12 g/l de deltaméthrine et de 150 ou 250 g/l de triazophos. Elle est adaptée au contrôle des chenilles de la capsule des genres *Helicoverpa*, *Earias*, *Diparopsis*, de l'Acarien *Polyphagotarsonemus latus* et des Lépidoptères phyllophages d'importance secondaire (CIDT, 1996). Appliqué en formulation EC avec les appareils d'épandage type appareil à dos à 60 l/ha à pression entretenue ou appareil à piles à 10 l/ha, le Deltaphos a prouvé son efficacité sur cette gamme de ravageurs. Cependant, son caractère rémanent nécessite un suivi de son action sur l'environnement du lieu d'application. Sa toxicité est une menace pour la faune auxiliaire et les quantités résiduelles contenues dans les sols pourraient devenir une source de contamination des bas-fonds où se déversent les eaux de ruissellement et de percolation des parcelles cultivées.

Des études de résidus d'insecticides des familles des pyréthrinoides et des organophosphorés dans les déchets, la fibre, la graine et l'huile du coton ont été menées depuis plusieurs années (Martin, 1995). Les résultats montrent que les teneurs résiduelles d'insecticides sont faibles dans la fibre et encore davantage dans les graines ou l'huile de coton mais qu'elles peuvent être importantes dans les déchets d'égrenage (Raj *et al*, 1990 et Gupta *et al*, 1984). Ces déchets peuvent aussi représenter une source de contamination dans le cas où ils ne seraient pas détruits mais épandus sur le sol. Les études de résidus dans les sols et l'eau des régions



cotonnières sont beaucoup plus rares et presque inexistantes en Afrique de l'Ouest. Afin d'évaluer les teneurs résiduelles d'insecticides dans le sol, nous avons entrepris l'étude du devenir du triazophos et de la deltaméthrine sur la station expérimentale de l'IDESSA, Institut des Savanes de Bouaké.

## Matériel et méthode

### 1- Le site expérimental

Sur la station de recherche de l'IDESSA, les parcelles d'essais ont été mises en place selon un dispositif en bloc. La superficie totale est de 3600 m<sup>2</sup>, c'est-à-dire 3 bandes de 12 m x 100 m sur lesquelles sont délimités les blocs. Un bloc comprend trois parcelles correspondant aux trois programmes de traitement : plafond, standard et non traité.

### 2- Echantillonnage

Les échantillons ont été prélevés sur les 10 premiers cm du sol selon un plan d'échantillonnage permettant de couvrir l'ensemble de la parcelle. Les dates de prélèvement ont été de 1, 3, 7, 14, 25, 53 jours après le dernier traitement insecticide. Pour chaque date, l'échantillon représentatif est le résultat de l'homogénéisation de 7 prélèvements tamisés au tamis 2 mm, il pèse environ 100g. Les échantillons sont ensachés, étiquetés et mis au congélateur. La chaîne de froid est maintenue de l'IDESSA de Bouaké au laboratoire de chimie analytique de la Faculté de Pharmacie de Montpellier.

### 3- Les insecticides

Depuis une vingtaine d'années, la Compagnie Ivoirienne du Développement des Textiles (CIDT) préconise l'emploi de 6 matières actives principales dont 2 pyréthrinoides et 4 organophosphorés. Il s'agit de la cyperméthrine, de la deltaméthrine, du triazophos, du profenophos, du chlorpyrifos-éthyl et du diméthoate.

Les formulations utilisées sur le site sont : le Deltaphos 262 EC composé de la deltaméthrine (12 g/ha) et du triazophos (250 g/ha) fourni par la société AgrEvo, le Cypercal D 336 EC composé de la cyperméthrine (36 g/ha) et du diméthoate (300 g/ha) fourni par la société CALLIOPE et le Temik 512 fourni par la société Rhône Poulenc. La figure 1 révèle les doses appliquées pendant la campagne de production 1997.

Seul le Deltaphos fait l'objet de l'étude du devenir de ces matières actives dans les sols. Cette formulation a été utilisée à raison de 4 traitements avec une fréquence de 14 jours pour le programme standard et de 10 traitements avec une fréquence de 7 jours pour le programme plafond. Il permet de contrôler les populations de *Helicoverpa armigera*, *Earias* spp, *Diparopsis watersi*, *Pectinophora gossypiella* et *Cryptophlebia leucotetra*. Au cours de ces programmes le Cypercal D a été substitué au Deltaphos pour contrôler une infestation de pucerons.

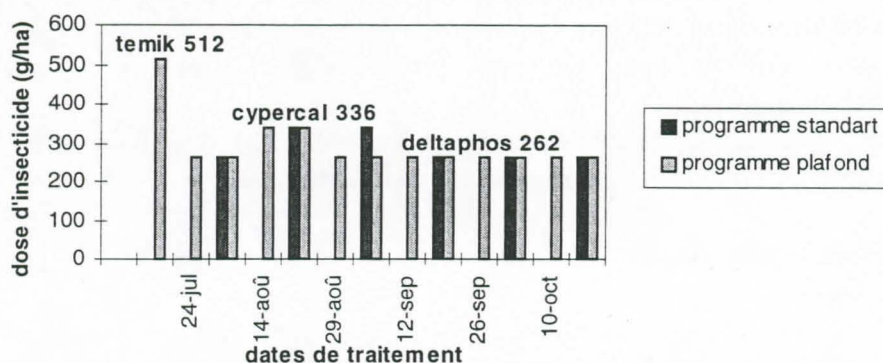


Figure 1: calendrier des traitements insecticides effectués sur les parcelles d'essais

### • La Deltaméthrine

De la famille des pyréthriinoïdes, la deltaméthrine est un analogue di-bromé de la cyperméthrine, mais sous forme d'un seul isomère : l'ester de l'acide d-cis-dibromo chrysanthémique et de l'alcool 1- $\alpha$ -cyano-m-phenoxy benzylique.

Formule moléculaire :  $C_{22}H_{19}Br_2NO_3$

Poids moléculaire : 505.2

Point de fusion : 100-102 °C

Pression de vapeur :  $1.24 \times 10^{-5}$  mpa (25 °C)

Kow : logP = 4.6 (25°C)

Demi-vie : 2.5 jours ( PH 9, 25°C).

La deltamethrine est plus stable dans un milieu acide qu'alcalin. Elle est extrêmement stable une fois exposée à l'air.

Décrit par Elliot *et al* (1974), elle a été sélectionnée pour son activité insecticide supérieure. La deltamethrine se présente sous la forme d'une poudre cristalline blanche. Elle est insoluble dans l'eau (0.002 mg/L) et soluble dans la plupart des solvants organiques. Elle agit par contact et ingestion sur un grand nombre d'insectes à des doses très faibles et de façon très rapide.

Comme tous les pyréthriinoïdes, la deltaméthrine est très toxique pour les poissons, la CL 50 à 96 h est de 88  $\mu$ g/l pour le Décis EC 25 (produit formulé), de 2.2  $\mu$ g/l pour la matière active pour *Salmo gairdnerii*, de 72  $\mu$ g/l pour le decis EC 25 et de 1.8  $\mu$ g/l pour la matière active sur *Lebistes reticulatus*.

### • Le triazophos

C'est un organophosphoré.

Formule moléculaire  $C_{12}H_{16}N_3O_3PS$

Poids moléculaire : 313.31

Point de fusion : 2-5°C

Pression de vapeur : 0.39 mpa (30 °C)

Kow : logP = 3.34 (25°C)

Demi-vie : 6-12 jours

Le triazophos se présente sous forme d'une huile brunâtre, il est soluble dans l'eau à 39 mg/l (pH 7, 20°C) et dans la plupart des solvants organiques.



Il est stable à la lumière, hydrolysé par les acides aqueux et les bases. Il agit par contact et par ingestion, c'est un inhibiteur de la cholinestérase. Non systémique, il pénètre profondément dans les tissus végétaux mais n'est pas phytotoxique lorsqu'il est utilisé tel qu'il est recommandé.

Toxique pour les abeilles et pour les poissons à une CL50 (96 heures) de 5.6 mg/l pour les carpes, 8.4 mg/l pour le doré, 11 mg/l pour le golden orfe.

#### **4 - Les analyses au laboratoire**

##### ***Analyses de sol***

Un échantillon représentatif de chaque bloc (résultant du mélange des échantillons de chaque parcelle) a été envoyé au laboratoire du CIRAD à Montpellier pour une analyse granulométrique, une évaluation de la teneur en matière organique et en carbone et une évaluation de la CEC. La moyenne des 3 répétitions donne les caractéristiques physico-chimiques du sol expérimenté.

D'autre part, afin de connaître l'évolution de la teneur en matières organiques dans le temps et éventuellement d'établir une corrélation entre la concentration en insecticide et la teneur en matière organique de chaque échantillon, une analyse de la teneur en carbone et en matière organique a été effectuée au laboratoire de l'ENSA de Montpellier sur 18 échantillons correspondant à trois dates de prélèvement (0, 25 et 54 jours après le dernier traitement) pour chaque programme de traitement et dans chaque répétition.

##### ***Analyses des résidus de deltaméthrine et de triazophos par chromatographie CPG***

###### ***1- Principe***

Ces analyses de résidus sont réalisées au laboratoire de la faculté de pharmacie de Montpellier, après extraction de sol par solvants organiques, par des méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec des détecteurs appropriés (détecteur à capture d'électron et détecteur à photométrie de flamme).

###### ***2- Mode opératoire***

- *Les réactifs* nécessaires dans une étude d'adsorption sont essentiellement les solvants organiques. Pour cette étude, l'éthyle acétate et l'éther de pétrole de qualité pour analyses de résidus ont été utilisés.

Il arrive d'avoir recours à des sels minéraux pour faciliter l'extraction du sol. Du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydre a été utilisé à deux reprises dans cette étude.

- *Les filtres* Whatman GF/B, 4.25 cm, les filtres Nalgènes 25 mm, adaptables sur seringues classiques et des cartouches Accubond Silica (3 ml, 500 mg) ont été utilisés pour obtenir des filtrats exempts d'impuretés.

- *Le chromatographe en phase gazeuse (CPG)* de marque HP5 890 équipé d'un détecteur à photométrie de flamme (DPF) (mode P filtre 526 nm) et injecteur split-splitless (mode splitless avec ouverture de la purge à 0.75 min.) et colonne HP 1 dimension 10 m x 0.53 mm est l'appareil qui a permis la détection du triazophos dans les extraits de sol. Température injecteur : 250°C. Température détecteur : 300°C. Température du four : 275 °C maximum.

- *Le CPG VARIAN 3350* couplé à un détecteur à capture d'électron, colonne capillaire HP 5, Gaz vecteur Azote. Splitless mode ("injection purge off" : 0.75 min). Température de l'injecteur 250°C. Température du four : 275 °C max., est l'appareil de haute sensibilité qui a permis de détecter la deltaméthrine.

- Des mixeurs de laboratoire type "omni-mixer" ont servi à l'extraction des matières actives du sol.

- La verrerie classique de laboratoire a servi à toutes les étapes de l'analyse.

### 3- Protocole de l'extraction des échantillons de sol.

- Dans un pot de mixeur de 300 ml, on a introduit 15 g de sol exactement pesés. L'extraction est assurée par une solution d'ether de pétrole et d'acétate d'ethyl (v/v :25/75) ajoutée en deux fois dans le mixer.

- Mettre 15 g de sol + 60 ml de solvant dans un mixer

- Mixer 20 min à vitesse moyenne

- Filtrer sous vide sur filtre Whatman

- Ré-extraire le sol par 60 ml de solvant (25/75) pendant 10 min, filtrer.

- Réunir les deux extraits et concentrer sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif

- L'extrait final est évaporé juste et repris par 2 à 3 ml de solvant

Dans un seul cas il a été nécessaire de purifier l'extrait avec une cartouche Accubond Silica rincée avec 5 ml d'hexane. L'élution de l'extrait introduit dans la cartouche a été effectuée également avec de l'hexane.

Dans tous les autres cas, les filtrats étaient suffisamment exempts d'impuretés.

### 4-Conditions d'analyses

Les solutions aqueuses d'insecticide avec étalon interne préparées pour l'analyse spectrophotométrique sont injectées (prises < 2 µl) afin de repérer le temps de rétention (T.R) des deux insecticides pour la phase éluante éther de pétrole/ éthyl acétate.

Les performances des appareils CPG et de la méthode (quantité minimale de matière active détectée, linéarité de la réponse, temps de rétention) ont été évaluées pour le triazophos et pour la deltaméthrine dans les conditions opératoires décrites. Ces performances sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Temps de rétention (T.R) de la deltaméthrine et du triazophos

M.A	Appareil	T.R (mn)	Linéarité	Gamme	Limite de détermination
Triazophos	CPG. FPD	8.74	$Y = 0.57X$ ( $r^2 = 0.992$ )	0.05-1 mg/l	5 µg/kg
Deltaméthrine	CPG.ECD	14.10	$Y = 1.67X + 0.29$ ( $r^2 = 0.995$ )	0.025-0.25 mg/l	0.005 µg/kg

Le pourcentage de recouvrement de la méthode a été évalué après ajout à des sols témoins de quantités connues de substances actives. Ce pourcentage est de 92 % ± 10 % pour le triazophos et de 85 % ± 5 % pour la deltaméthrine.

Lartigues et Garrigues (1993) estiment qu'une bonne extraction a un rendement supérieur à 80%. La variation sur la mesure de rendement d'extraction ne doit pas excéder 10%.

Les concentrations d'insecticide dans les sols de la station de l'IDESSA sont calculées à partir des droites d'étalonnage. Il s'agit d'obtenir une gamme étalon de chaque matière active pour établir une correspondance entre une aire ou une hauteur chromatographique et une



concentration en substance active. Cette aire est celle du pic de concentration de la matière active au temps de rétention préalablement mesuré à partir d'un échantillon témoin.

## Résultats et discussion

### Analyse de sol

Les résultats de l'analyse de sol de la station de l'IDESSA sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : caractéristiques physico-chimiques du sol de la station de l'IDESSA

	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	Moyenne
<b>GRANULOMETRIE (%)</b>				
Argiles	14.50	12.40	13.40	<b>13.43</b>
Limons	6.90	7.50	5.00	<b>6.46</b>
Limons gros	4.90	4.00	2.30	<b>4.4</b>
Sables fins	24.60	24.90	27.00	<b>25.5</b>
sables grossiers	49.10	51.10	52.30	<b>50.8</b>
<b>MATIERE ORGANIQUE (%)</b>				
Mat. org.	2.58	1.77	1.86	<b>2.07</b>
Carbone org.	1.50	1.03	1.08	<b>1.20</b>
Azote total	1.08	0.76	0.88	<b>0.91</b>
C/N	13.89	13.55	12.27	<b>13.24</b>
<b>COMPLEXE ABSORBANT (MEQ/100G)</b>				
Ca ECH	6.29	4.18	2.97	<b>4.48</b>
Mg ECH	1.38	0.90	0.91	<b>3.19</b>
K ECH	0.79	0.52	0.44	<b>0.58</b>
Na ECH	0.02	0.03	0.01	<b>0.02</b>
Mn ECH	0.01	0.02	0.02	<b>0.02</b>
Al ECH	0.00	0.00	0.01	<b>0.00</b>
H ECH	0.00	0.00	0.01	<b>0.00</b>
PH COBALT (Ca, Mg, K, Na)	8.47	0.00	5.20	<b>4.56</b>
CEC	9.33	5.62	4.93	<b>6.62</b>
S/CEC	90.77	89.98	87.90	<b>89.55</b>

Le sol est sablo-argileux, très acide (pH 4,6), avec une faible teneur en matière organique et une faible capacité d'échange cationique. La granulométrie de ce sol est étroitement liée à la nature de la roche-mère : les sables et les argiles sont issus de l'altération des roches basiques et granitiques sous jacentes. Le rapport limons sur argile supérieur à 15 %, la teneur en bases échangeables comprise entre 6 et 15 meq %, le taux de saturation très supérieur à 30 % et le caractère humifère de ce sol superficiel sont typiques des ferrisols, dérivés des sols ferralitiques et désignés comme le type de sol où est cultivé le coton de la Côte d'Ivoire (Dabin, 1960). Les sols ferralitiques ont été définis par Aubert et Segalen en 1962 comme suit : «Sols à profils ABC, caractérisés par une décomposition poussée de la matière organique, alors très liée à la matière minérale, et par une très forte altération des minéraux résultant d'une libération importante de sesquioxydes de Fe, Mn et même, souvent, Al. Les minéraux argileux sont constitués en plus des sesquioxydes de Fe, Al, ect, de kaolinite et parfois de traces d'illite.

La teneur moyenne en matière organique du sol étudié est de 20,6 g/kg. Cette valeur est proche des résultats obtenus au laboratoire de l'ENSA, présentés dans le tableau 3.

Ces résultats montrent que le sol s'enrichit en matière organique pendant la période de la récolte du coton, qui se déroule du mois d'octobre au mois de décembre, avec des teneurs maximum au mois de novembre.

*Tableau 3 : Evolution de la teneur en carbone et en matière organique dans l'horizon superficiel du sol pendant la période de récolte*

	BLOC 1		BLOC 2		BLOC 3		Moyenne
jours	Teneur carbone (g/kg)	en teneur M.O (g/kg)	en teneur en carbone (g/kg)	teneur M.O (g/kg)	en teneur carbone (g/kg)	en teneur M.O (g/kg)	en teneur en MO (g/kg)
0	8.2	14.1	7.9	13.6	9.33	16.04	14.58
24	11.4	19.5	10.3	17.7	7.4	12.78	16.66
53	9.9	17.2	8.4	14.4	7.7	13.22	14.94

La teneur en matière organique est plus importante dans l'échantillon prélevé le 24<sup>ème</sup> jour (11/11/97) suivant le dernier traitement. La chute des feuilles au sol et le processus d'humification de cette matière végétale est certainement à l'origine de l'augmentation de la teneur en matière organique entre le premier et le 24<sup>ème</sup> jour de prélèvement. Pendant cette période, une forte infestation de Thrips a provoqué une défoliation quasi totale des plants. L'humification de la matière organique sous les conditions climatiques tropicales étant très rapide, on peut supposer que les échantillons prélevés en novembre étaient enrichis d'une matière organique fraîche résultant de la dégradation des feuilles tombées au sol.

Les évolutions des teneurs de résidus dans la couche 0-10 cm du sol de la station de l'IDESSA sont illustrées dans les figures 2 et 3, en annexe.

La cinétique de dégradation du triazophos dans le sol au cours de cette expérience prend la forme d'une courbe de dégradation classique. Par contre la concentration de deltaméthrine au 24<sup>ème</sup> jour après le dernier traitement semble être une valeur adhérente. L'augmentation de la quantité présente dans le sol à cette date peut cependant être expliquée par l'enrichissement du sol en matière organique suite à la chute des feuilles de cotonnier contenant des résidus de deltaméthrine. Il est estimé que 25 % de la matière active est dégradée dans la plante au bout de trois jours après le traitement. Les plants de coton ont été traités alors qu'ils étaient infestés par les Thrips et que le processus de chute des feuilles avait débuté. La quantité de résidus de deltaméthrine dans les feuilles était alors encore importante au point de provoquer le pic de concentration dans le sol observé à la date du 11 novembre.

Les demi-vies des résidus dans le sol sont de 2-3 jours pour la deltaméthrine et de 4-5 jours pour le triazophos. On retrouve à T0 un excédent de résidus dans le cas des traitements plafond. Il correspond à l'excédent mesuré à T53 dans les parcelles en programme plafond également. Au bout de trois jours les quantités résiduelles mesurées se confondent pour les deux types de programme (4 traitements pour le programme standard et 10 pour le programme plafond). A partir de T15, les quantités de résidus sont supérieures pour le programme



plafond. Il y aurait donc une accumulation de résidus dans la couche superficielle du sol et cette accumulation varie avec une augmentation des fréquences d'application des produits. Outre les caractéristiques pédologiques du site expérimental et les propriétés biochimiques des matières actives utilisées, les conditions météorologiques (températures, évaporation et surtout pluviométrie) influencent fortement les processus de dissipation ou d'immobilisation des produits phytosanitaires dans le sol. La figure 4 présente les données météorologiques relevées sur le site de l'IDESSA pendant la campagne 97.

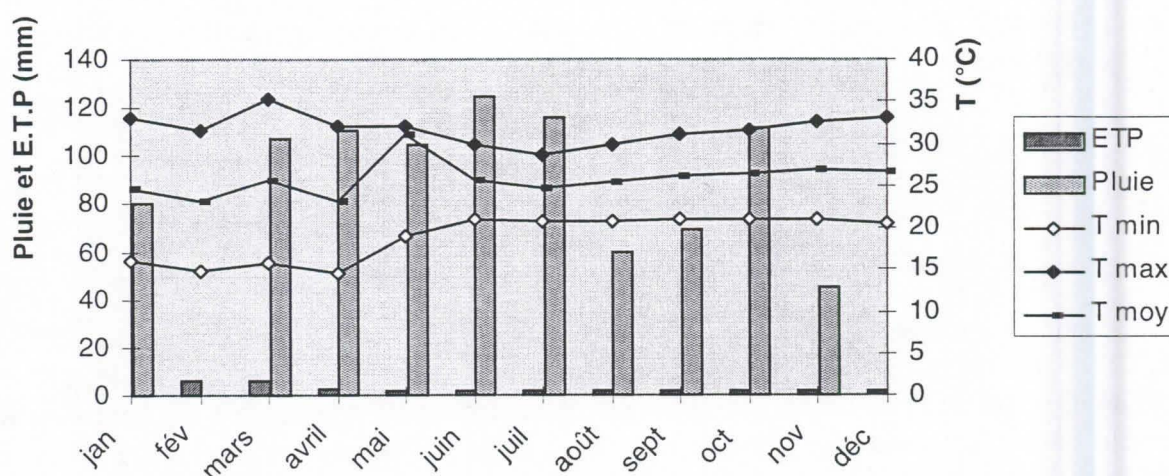


Figure 4 : Températures, pluviométrie et ETP de l'année 1997, relevées sur la station de l'IDESSA.

Il apparaît que les précipitations ont été plus faibles mais presque quotidienne en août et septembre, pendant la maturation des plants de coton et au moment des traitements phytosanitaires. Les insecticides retenus sur les feuilles sont donc en partie retombés sur le sol pendant cette période, par lessivage du feuillage. Ce processus a été plus important en octobre alors que les pluies étaient plus importantes. Les précipitations cessent totalement à la deuxième décade du mois de novembre, qui marque la fin de la saison humide. Les températures restent constante tout au long de l'année, avec une moyenne annuelle de 26 °C. A cette température, la deltaméthrine est très peu volatile. Le triazophos l'est davantage mais l'évapo-transpiration potentielle (ETP) étant très faible, de l'ordre de deux mm par mois, il semble que la quantité de produit volatilisé à partir de la plante ou du sol reste faible.

## Discussion

Les quantités initiales de matières actives retrouvées dans le sol de la station de l'IDESSA représentent la part de produit qui a été retenue sur les particules de sol de l'horizon 0-10 cm. Ces quantités diminuent ensuite, soit parce qu'elles sont dégradées, soit parce qu'elles sont dispersées dans les différents compartiments de l'environnement. Une part du produit peut être volatilisée au moment de l'application des insecticides ou à partir du sol, une autre peut



percoler vers les horizons de profondeur et le ruissellement peut également emporter une quantité non négligeable de produit hors des parcelles d'expérimentation.

### **1-Transfert des insecticides vers l'atmosphère**

Les appareils d'épandage de type bas volume (BV) utilisés par les producteurs de coton réduisent considérablement les pertes de produit par volatilisation au moment de l'application, car la distance entre les buses et la plante est volontairement maintenue au minimum. De plus, la masse végétale et l'architecture du cotonnier permettent de couvrir l'ensemble des entre-rangs (80 cm) de telle façon que la bouillie atteigne essentiellement la surface foliaire. Cependant la volatilisation peut se produire après le traitement, depuis le sol, les plantes et les eaux de surface (Novotny et Chesters, 1981). La vitesse de volatilisation dépend des propriétés physico-chimiques des produits (tension de vapeur, coefficient de partage air/eau et air/solide...) et des facteurs environnants tels que la température, les mouvements de l'air, les techniques culturales, la formulation et l'humidité de la couche superficielle du sol. Jury et al., 1987, ont observé des pertes par volatilisation de la trifluraline pouvant atteindre 50 % de la quantité épandue au bout de 7 heures sur un sol sec alors qu'elles sont de 25 % pour un sol humide au bout de 25 heures. Il est à noter que les précipitations moyennes mensuelles sur la station ont varié entre 45 et 120 mm; le sol est donc toujours maintenu dans de bonnes conditions d'humidité. L'humidité du sol, associée à l'arrêt des sarclages en fin de campagne et au recouvrement du sol par les feuilles suite à l'infestation des Thrips ne permettent pas d'expliquer la dégradation des produits pendant les 12 premiers jours suivant le dernier traitement par le processus de volatilisation uniquement.

### **2-Transport dans les sols**

#### ***Le transport horizontal (à la surface du sol)***

Les pertes des produits par ruissellement dépendent de nombreux facteurs tels que les propriétés physico-chimiques de la molécule (solubilité, coefficient de partage ...), les quantités de produits appliquées, le temps écoulé entre leur application et les précipitations, le volume du ruissellement, la pente du terrain (Patti, 1997).

Sur le site de l'IDESSA, les caractéristiques morpho-pédologiques (pente 3 %, sables et gravillons d'origine granitique et faible proportion de limons en surface) du milieu, le régime des pluies bimodal (deux périodes de pluie intenses intercalées par une accalmie en septembre et octobre) et la couverture végétale du sol (présence de bandes enherbées) influencent le processus de ruissellement en réduisant son importance. De plus, les sols restent occupés par les plants de coton jusqu'au mois de décembre et parfois davantage, c'est-à-dire près de 6 mois après le dernier traitement, période au cours de laquelle les produits sont totalement disparus de la couche superficielle du sol (aucun résidu n'a été retrouvé dans les échantillons prélevés le 4 avril 1998). Le labour du terrain en toute fin de saison, juste avant les semis (avril-mai) avec des techniques traditionnelles mais conservatrices (labour à la herse à dent, perpendiculairement à la pente) réduisent également les pertes par ruissellement.

D'après Wauchope (1978), les pertes et les concentrations les plus élevées se situent quand un événement pluvieux important et générateur de ruissellement se produit sur le site agricole durant les deux semaines qui suivent l'application des pesticides. Cet auteur a évalué que pour des pentes de 3 % et moins, les pertes par ruissellement sont proches de 2 %. Il a également noté que les pertes supérieures à 2 % se produisaient en cas de volumes d'eau de ruissellement



particulièrement important et non pas à cause de concentrations élevées de pesticides. Sur le site, il est tombé successivement 42 mm et 30 mm d'eau durant les deux décades suivant le dernier traitement, ces quantités suffisent à provoquer le ruissellement mais la pente faible et la présence de bandes enherbées limitent le transport du produit à une courte distance.

#### *Le transport vertical (en profondeur du sol)*

La structure et la texture du sol déterminent sa porosité et donc sa perméabilité aux solutés. Les ferrisols sont caractérisés par un horizon A (0 à 15-20 cm) humifère, de texture sableuse ou sablo-argileuse et de structure grumeleuse ou nuciforme. Ces caractéristiques définissent un horizon perméable où les solutés ont tendance à migrer vers les horizons de profondeur, plus argileux et souvent très graveleux.

L'eau du sol est le principal vecteur de transport des produits phytosanitaires par diffusion moléculaire ou par convection. Les caractéristiques structurales (macroporosité) des horizons superficiels des sols ferralitiques favorisent les écoulements par convection (Calvet, 1977) et ainsi un transport des solutés plus rapide en surface qu'en profondeur. Malgré l'absence de système de drainage ou d'irrigation dans le système de culture cotonnier ivoirien, la profondeur des nappes phréatiques (parfois 20-30 m) du milieu tropical et la fréquence ralentie des pluies en fin de campagne de production, le lessivage des produits phytosanitaires dans le sol semble être le processus à retenir pour expliquer la rapidité de la diminution des teneurs en matières actives pendant les 12 premiers jours suivant les derniers traitements.

Des analyses d'échantillons de sol prélevés dans les horizons de profondeur pendant cette période devraient permettre de vérifier cette hypothèse.

### **3- L'immobilisation des matières actives dans le sol**

La proportion de matière active qui est retenue dans l'horizon de surface est dite immobilisée. La substance active peut alors être adsorbée sur les colloïdes ou dégradée par les microorganismes du sol.

L'adsorption, définie comme la rétention d'un composé en solution à la surface d'un adsorbant solide (Calvet, 1989), est influencée par plusieurs facteurs :

- les propriétés biochimiques de la matière active (structure électronique, aptitude à être ionisée, volume moléculaire et hydrosolubilité).
- les caractéristiques des matériaux adsorbants du sol (composition organo-minérale du sol : présence et nature des argiles, oxydes et hydroxydes, type de matière organique).
- les conditions du milieu (pH et Température)

#### *Les propriétés biochimiques des molécules*

Le caractère non ionique des molécules de triazophos et de deltaméthrine leur donne une affinité plus importante pour les substances humiques. L'adsorption sur les colloïdes est plus ou moins réversible et conduit partiellement à la désorption. Cette réversibilité dépend du type et de l'intensité des liaisons physico-chimiques entre les molécules (échanges ioniques de forte énergie ( $> 80$  kJ/mole), ponts hydrogènes, force de Van der Waals et interactions hydrophobes de faible énergie ( $< 80$  kJ/mole)). L'adsorption des composés non ionisables (organophosphorés) serait due principalement à des forces de Van der Waals, donc de type physique (Calvet *et al.*, 1980; Saint-fort et Visser, 1988). Ils seraient donc sujet à la désorption ce qui explique la forme hyperbolique régulière de la courbe de dégradation du triazophos.



### ***Les caractéristiques des matériaux adsorbants du sol***

#### **• Les Oxydes de fer et d'aluminium**

Les oxydes et les hydroxydes de fer et d'aluminium présents en grande quantité dans les sols ferralitiques sont en général de faibles adsorbants, mais, associés aux argiles, ils augmentent leur pouvoir d'adsorption. Ceci a été démontré pour les triazines et les urées substituées (Terce et Calvet, cité par Calvet, 1981). L'adsorption de certains pesticides par des oxydes de fer (goethite) a été notamment démontrée pour le 2,4 D (Watson *et al.*, cité par Thoisy-dur *et al.*, 1988) et la fluméquine (Thoisy-Dur *et al.*, 1988). L'analyse de sol (tableau 2) ne fait pas état de la teneur en oxyde de fer et mentionne une valeur nulle pour l'aluminium échangeable. De plus, ces minéraux sont souvent à l'état libre dans les sols ferralitiques, ils ne peuvent que partiellement adsorber les matières actives.

#### **• Les argiles**

La structure cristalline des argiles fait de ces particules des échangeurs de cations. Les argiles possèdent une surface d'échange qui peut être très importante comme dans le cas des argiles de type montmorillonites, dites gonflantes. Le Kd (coefficient d'adsorption) est plus élevé pour des particules de type montmorillonite que des particules de type kaolinite, illite, bentonite et sableuse (Garnas *et al.* cité par O' Connor et Connolly, 1980; Weber *et al.*, 1983). Les propriétés des argiles induisent un phénomène d'adsorption pour les organophosphorés régie par l'échange d'ions (Sanchez Camazano et Sanchez Martin, 1983; Khan et Khan, 1986). La solubilité dans l'eau des organophosphorés leur confère une affinité pour l'illite et la kaolinite qui retiennent l'eau entre leurs couches tétraédriques et octaédriques. Pusino *et al* (1992) et Calvet (1989) indiquent que l'effet de la fraction minérale est prédominante lorsque le taux d'argile est élevé et la teneur en matière organique faible comme c'est le cas dans les horizons de profondeur des sols ferralitiques.

#### **• La matière organique**

L'adsorption des pesticides dans le sol peut être reliée au taux de matières organiques, ce qui conduit à définir le coefficient d'adsorption Kd en fonction de cette teneur (Hamaker et Thompson, 1972), selon la formule suivante :

$$Koc = kd/foc \text{ (foc = fraction de carbone dans le sol)}$$

Plusieurs auteurs ont observés une diminution de l'adsorption lorsque le taux de matière organique diminuait (Arienzo *et al*, 1994, Sanchez Martin et Sanchez Camazano, 1991, Reddy et Gambrell, 1987, Calvet *et al*, 1989). Ainsi peut-on associer l'augmentation de la teneur en M.O en J25 à l'augmentation de la quantité de deltaméthrine adsorbée à cette même date.

### ***Les conditions du milieu***

Lorsque le pH du sol provoque l'ionisation des molécules utilisées, il devient très influent sur l'adsorption (Calvet *et al.*, 1980). Une variation de pH peut entraîner des modifications de structure de l'argile et de la matière organique (ionisation des fonctions hydroxyles, altération du réseau cristallin...) qui peuvent influencer les propriétés d'adsorption.

L'augmentation de la température dans les sols organiques favorise l'adsorption en augmentant le nombre de sites actifs sur les substances humiques (Khan *et al.*, 1996).

## **Conclusion**

Les résidus de deltaméthrine et de triazophos sont présent dans la couche superficielle du sol jusqu'à un mois et demi après leur application. Ils présentent là un risque de toxicité pour la microfaune utile du sol. Cependant, des tests de toxicité sur lombric montrent que les doses



usuelles de deltaméthrine de 12.5 g/ha à 25 g/ha provoquent peu de mortalité chez ces organismes (Bouché et Fayolle, 1979). La toxicité sur d'autres organismes de la rhizosphère des sols ferralitiques n'a pas encore été évaluée. Toxique pour les poissons d'eau douce à des quantités résiduelles d'environ 2 µg/l, l'entraînement par ruissellement de l'horizon superficiel du sol dans les trois à cinq jours suivant le traitement comporte un véritable risque écologique.

Le sol est le milieu récepteur où sont assurément dégradées les matières actives, mais très graduellement. Les risques de contamination encourus par l'utilisation des insecticides dans les cultures proches des aquifères sont plus sérieux. Il s'agit des cultures maraîchères installées dans les bas-fonds ou du riz irrigué, cultivé dans des retenues d'eau aux abords des fleuves de façon semi industrielle ou également dans les bas fonds de façon artisanale. Des tentatives de pisciculture dans les bas fonds ont été menées afin de sédentariser les peuples nomades dans le nord de la Côte d'Ivoire, les troupeaux viennent s'abreuver à ces sources et l'eau est parfois utilisée pour la consommation humaine. Une évaluation des résidus de matières actives dans l'eau reste à mener....